

**This Page Is Inserted by IFW Operations  
and is not a part of the Official Record**

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

**Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.**

**Defects in the images may include (but are not limited to):**

- **BLACK BORDERS**
- **TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- **FADED TEXT**
- **ILLEGIBLE TEXT**
- **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- **COLORED PHOTOS**
- **BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS**
- **GRAY SCALE DOCUMENTS**

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning documents *will not* correct images,  
please do not report the images to the  
Image Problem Mailbox.**

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**



## AMT FÜR ERFINDUNGS- UND PATENTWESEN

In der vom Anmelder eingereichten Fassung veröffentlicht

(21) WP B 60 L / 310 760 6

(22) 18.12.87

(44) 05.04.89

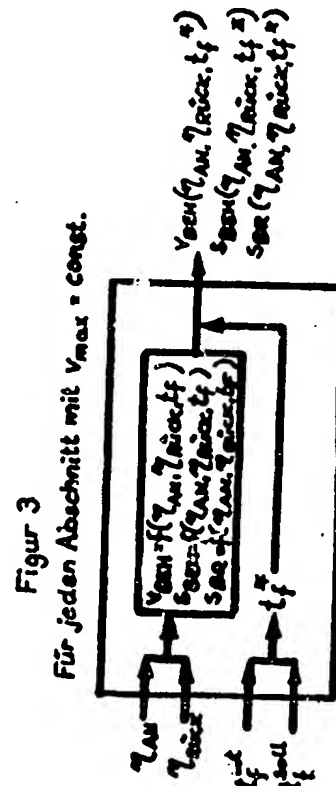
(71) Zentrales Forschungsinstitut des Verkehrswesens, Zentrum für Prozeßautomatisierung, Markgrafendamm 24, Berlin, 1017, DD

(72) Gohlisch, Gunnar, Dipl.-Math.; König, Frank, Dipl.-Ing., DD

(54) Verfahren zur energieoptimalen Steuerung von spurgebundenen elektrisch angetriebenen Fahrzeugen mit Nutzbremse

(55) Elektrischer Antrieb, spurgebundenen Fahrzeug, Nutzbremse, Fahrzeit, energieoptimale Steuerung, Antriebswirkungsgrad, Rückspeisungswirkungsgrad, Planhalt, Bewegungsphasen, Beharrungsgeschwindigkeit, Beharrungslänge, Bremseneinsatzpunkt

(57) Für spurgebundene, elektrisch angetriebene Fahrzeuge mit Nutzbremse ist eine maximale Einsparung an Elektroenergie durch Ermittlung einer energieoptimalen Steuerung zu vorgegebener Fahrzeit zwischen zwei Planhalten zu erzielen. Die energieoptimale Steuerung wird eindeutig beschrieben durch die zeitliche Abfolge der Bewegungsphasen Anfahrt mit maximaler Zugkraft, Beharrungsfahrt, Auslauf, Bremsen mit maximal zulässiger Bremskraft und die Angabe der vom Wirkungsgrad der Antriebsphase und vom Wirkungsgrad der Energierückspeisung abhängigen Größen Beharrungsgeschwindigkeit, Beharrungslänge und Bremseneinsatzpunkt. Das erfindungsgemäße Verfahren realisiert eine Senkung des Gesamtverbrauchs an Elektroenergie für die Zugfahrt. Fig. 3



## Patentansprüche:

Verfahren zur energieoptimalen Steuerung von spurgebundenen, elektrisch angetriebenen Fahrzeugen mit Nutzbremse, dadurch gekennzeichnet, daß nacheinander die Bewegungsphasen Anfahrt mit maximaler Zugkraft, Beharrungsfahrt mit  $v = \text{const.}$ , Auslauf und Bremsen mit maximal zulässiger Bremskraft ausgeführt werden und die eine derartige Fahrweise eindeutig festlegenden Größen Beharrungsgeschwindigkeit ( $V_{\text{BEH}}$ ), Länge der Beharrungsfahrt ( $S_{\text{BEH}}$ ) und Bremseneinsatzpunkt ( $S_{\text{BR}}$ ) in Abhängigkeit von der Fahrzeit, dem Wirkungsgrad des Antriebs und dem Wirkungsgrad der Rückspeisung bestimmt werden und als Steuerbefehle, die zu energieoptimaler Fahrweise führen, einer Steuereinrichtung zur Weiterverarbeitung übermittelt werden.

Hierzu 2 Seiten Zeichnungen

## Anwendungsgebiet der Erfindung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Unterstützung einer energiesparenden Fahrweise bei der Elektrotraktion mit elektrischen Triebfahrzeugen, bei denen die Nutzbremse angewendet wird.

## Charakteristik des bekannten Standes der Technik

Bekanntlich (DD B 60 L 15/20, WP-Nr. 129761) wurden die beim Nahverkehr für eine energiesparende Fahrweise erforderlichen Umschaltungen bei großen Fahrzeitreserven von Beschleunigungen im Auslauf geschwindigkeitsabhängig, bei kleinen Fahrzeitreserven von Beharrungsfahrt in Auslauf wegababhängig sowie der jeweils zugehörige Bremseneinsatzpunkt unter der Voraussetzung der Fahrplanelnhaltung wegababhängig vorausberechnet und vorprogrammiert, so daß bei Einhaltung der Schaltvorschrift nicht vermeidbare, jedoch hinreichend kleine Abweichungen des Fahrverlaufes ausgeglichen werden. Diese Umschaltungen sind vor bzw. zum Zeitpunkt des Fahrbeginns von der Steuereinrichtung bereitzustellen, wobei bei vorgegebenen konstanten Aufenthaltszeiten je Bahnhof eine ortsabhängige (zeitfeste Programmauswahl) und bei variablen Aufenthaltszeiten eine zeit- und ortsabhängige Programmauswahl (zeitvariable Programmauswahl) zu realisieren ist. Die Reihenfolge der Schaltaktionen ist von den im Nahverkehr bekannten energiesparenden Fahrweisen abhängig, so daß die vier Steuerregime

- Anfahrt
- ggf. Beharrungsfahrt entlang der Höchstgeschwindigkeit
- Auslauf
- Bremsen

notwendigerweise nacheinander abzuarbeiten sind.

Über eine Logikschaltung erfolgt die Unterscheidung zwischen geschwindigkeits- oder wegababhängiger Umschaltung in das Fahrregime Auslauf. Die entweder über den Zwischenspeicher oder direkt durch die Speicheranordnung bereitgestellte Information (in Form einer Vorgebe der Beharrungsgeschwindigkeit  $V_{\text{BEH}}$  bzw. des Beharrungsweges  $S_{\text{BEH}}$  und des Bremseneinsatzpunktes  $S_{\text{BR}}$ ) über das aktuell zu realisierende Fahrregime kann sowohl über eine digitale Anzeigeeinrichtung an den Triebfahrzeugführer ausgegeben und dieser realisiert die eigentliche Zugfahrt, als auch unmittelbar an eine selbsttätige Steuereinrichtung übertragen werden, so daß dieser mit Hilfe der Anzeige im wesentlichen nur eine Kontrollfunktion ausübt. Der Nachteil des beschriebenen Verfahrens besteht darin, daß die veränderten energetischen Bedingungen bei Anwendung der Nutzbremse (Möglichkeit der Rückspeisung elektrischer Energie an das Netz während des Bremsvorganges) nicht berücksichtigt werden und dieses Verfahren somit nicht in der Lage ist, für elektrische Triebfahrzeuge mit Nutzbremse eine energieoptimale Fahrweise zu bestimmen.

An anderer Stelle (DE B60 L 7/12, Nr. 3428118 A1) wird eine Nutzbremse für einen Gleichstrom-Fahrmotor schaltungstechnisch beschrieben, bei der der Anker, eine Drossel, ein Netz-Thyristorsteller und eine Parallelschaltung aus einem Kondensator und einem lösbaren Thyristorsteller in Serie an das Netz anschaltbar sind. Im oberen Drehzahlbereich, in dem die erzeugte Motorspannung größer oder gleich der Netzspannung ist, werden der Ankerstrom-Thyristorsteller und der Netz-Thyristorsteller wechselweise gegensinnig geöffnet und geschlossen. Dabei kann die gesamte kinetische Energie des Fahrzeuges weitgehend verlustfrei an das Netz zurückgespeist werden.

Der Nachteil besteht darin, daß auf die Möglichkeit einer weiteren Einsparung von elektrischer Energie mittels Anwendung einer energiesparenden Fahrweise nicht eingegangen wird. Weiterhin liefert die Anwendung der Optimierungstheorie auf die Betriebsabläufe von modernen Schnellbahnen (nach K.H. Kraft und E. Schnieder: „Optimale Trajektorien im spurgebundenen Schnellverkehr“, Regelungstechnik 1981, H. 4, S. 11–119) optimale Trajektorien für planmäßigen und gestörten Betrieb. Für zeitoptimale und energieoptimale Fahrweisen werden mit Hilfe des Maximumprinzips und unter Beachtung beschränkter Steuer- und Zustandsgrößen die zugehörigen Algorithmen entwickelt. Aus der Berücksichtigung verschiedener Bremssysteme geht hervor, welche Energieersparnis unter welchen Bedingungen durch eine ideale Nutzbremse erreicht wird. Für nichtplanmäßige Betriebsfälle mit veränderlichen Zielkoordinaten liefert die Optimierungstheorie nach Euler-Lagrange günstige Fahrverläufe, die sich durch ein adaptives Regelsystem verwirklichen lassen.

Der Nachteil dieses Verfahrens besteht in einer unzulässigen Idealisierung von fahrzeugtechnischen Parametern, in deren Ergebnis Fahrweisen (Trajektorien) ermittelt werden, die sich in der Praxis als nicht energieoptimale weisen.

### Ziel der Erfindung

Ziel der Erfindung ist es, bei vorgegebener Fahrzeit zwischen zwei Planhalten eine energieoptimale Fahrweise zu ermitteln und damit eine Einsparung an elektrischer Energie zu ermöglichen.

### Darlegung des Wesens der Erfindung

Die Ursache eines höheren Energieverbrauchs bei bisher bekannten technischen Lösungen besteht in der unberechtigten Idealisierung des Fahrzeugsystems, in dem sowohl der Energieverbrauch in der Antriebsphase als auch die Rückspelsung während der Bremsphase in der Zeiteinheit als nur von der Kraft und der Geschwindigkeit abhängig angesehen werden:

$$E = \int_0^T F(t) V(t) dt$$

Das zu lösende Problem besteht darin, unter Berücksichtigung der Wirkungsgradverhältnisse während des Antriebs und bei der Rückspelsung eine Steuerung zu realisieren, die zur Einsparung von Elektroenergie führt.

Erfindungsgemäß wird bei Beachten der Abhängigkeit des Gesamtenergieverbrauchs vom Antriebswirkungsgrad  $\eta_{AN}$  und des Rückspelsungswirkungsgrades  $\eta_{RÜCK}$  in der Form

$$E = \frac{1}{2} \int_0^T \left( \left( \frac{1}{\eta_{AN}} - \eta_{RÜCK} \right) F(t) + \left( \frac{1}{\eta_{AN}} + \eta_{RÜCK} \right) F(t) \right) V(t) dt$$

ein energieoptimales Fahrregime in der zeitlichen Abfolge der Bewegungsphasen

→ Anfahrt mit maximaler Zugkraft

→ Beharrungsfahrt mit  $V = \text{const.}$

→ Auslauf

→ Bremsen mit maximal zulässiger Bremskraft

mit von  $\eta_{AN}$  und  $\eta_{RÜCK}$  abhängigen Umschaltprodukten zwischen den Phasen für eine Fahrt zwischen zwei Planhalten ermittelt. Die Umschaltprodukte sind gemäß den technischen Zustandsgrößen des Prozesses der Zugfahrt durch Weg und Geschwindigkeit charakterisiert und neben den Wirkungsgradverhältnissen von der vorgegebenen Fahrzeit zwischen den Planhalten funktional abhängig. Sie werden durch Darstellung des Zugmodells unter Berücksichtigung fahrdynamischer Gesetzmäßigkeiten für jeden Abschnitt mit konstanter zulässiger Höchstgeschwindigkeit ermittelt und sind als Sollwerte für eine energieoptimale Zugsteuerung zu verwenden. Die Steuerung des Fahrzeuges erfolgt durch Impulse, die auf der Basis des Vergleichs dieser Sollwerte mit den aktuellen Istzuständen entstehen.

### Ausführungsbeispiele

Die Erfindung soll nachstehend an einem Beispiel näher erläutert werden. Die zugehörige Zeichnung zeigt in

Fig. 1: Weg-Geschwindigkeits-Diagramm von Zugfahrten mit unterschiedlichen Auslauflängen

Fig. 2: Länge des Auslaufweges als Funktion des Produktes von Antriebs- und Rückspelsungswirkungsgrad

Fig. 3: Blockschaltbild des Verfahrens der energieoptimalen Steuerung von Fahrzeugen mit Nutzbremse

Eine Fahrweise, die zeitlich aufeinanderfolgend die Bewegungsphasen

→ Anfahrt

→ Beharrungsfahrt

→ Auslauf

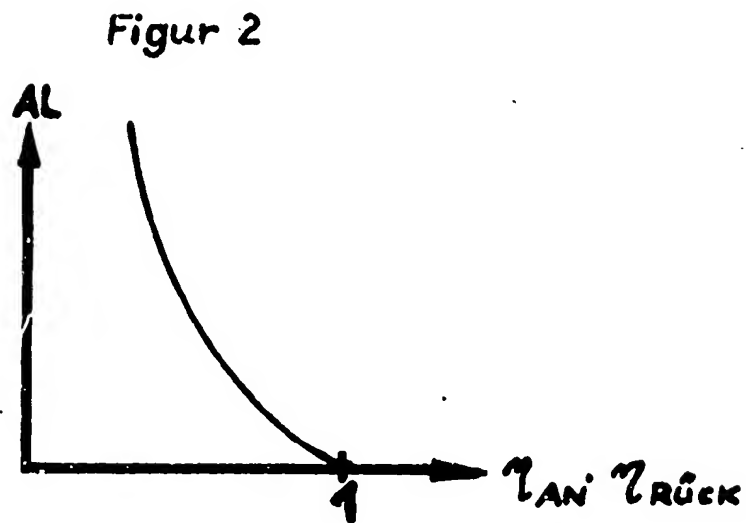
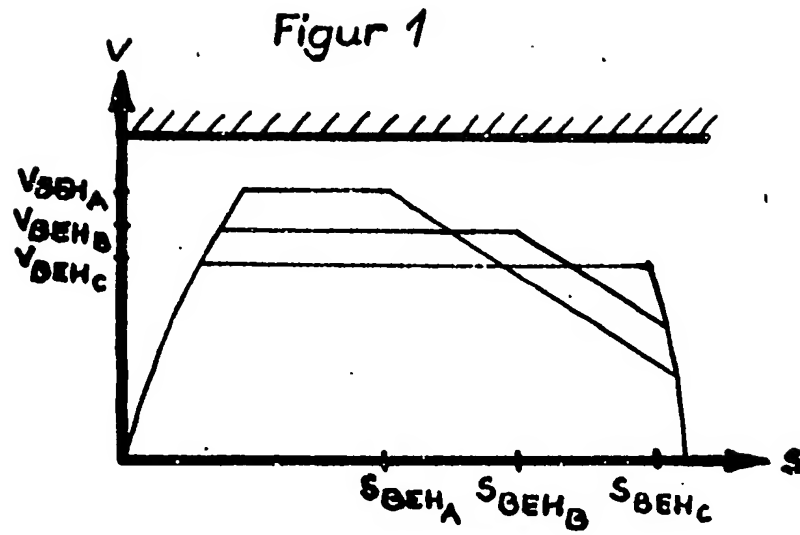
→ Bremsen

realisiert, ist bei vorgegebener Fahrzeit eindeutig durch die Höchstgeschwindigkeit der Beharrungsfahrt  $V_{BEH}$ , Wegpunkt  $S_{BEH}$  des Übergangs von der Phase Auslauf (Beharrungslänge) und Bremseneinsatzpunkt  $S_{BR}$  bestimmt.

Figur 1 zeigt das Weg-Geschwindigkeits-Diagramm derartiger Fahrten. Die Trajektorien A, B und C führen alle auf die gleiche, durch den Fahrplan vorgegebene Fahrzeit, sind darüber hinaus aber durch unterschiedliche Beharrungsgeschwindigkeiten  $V_{BEH}$ , Länge der Beharrungsfahrt  $S_{BEH}$  und daraus resultierend unterschiedliche Auslauflängen AL und Bremseneinsatzpunkte  $S_{BR}$  gekennzeichnet. Den Zusammenhang zwischen Auslauflänge AL bei energieoptimaler Fahrt und dem Produkt aus Antriebswirkungsgrad und Rückspelsungswirkungsgrad  $\eta_{AN} \cdot \eta_{RÜCK}$  zeigt Figur 2.

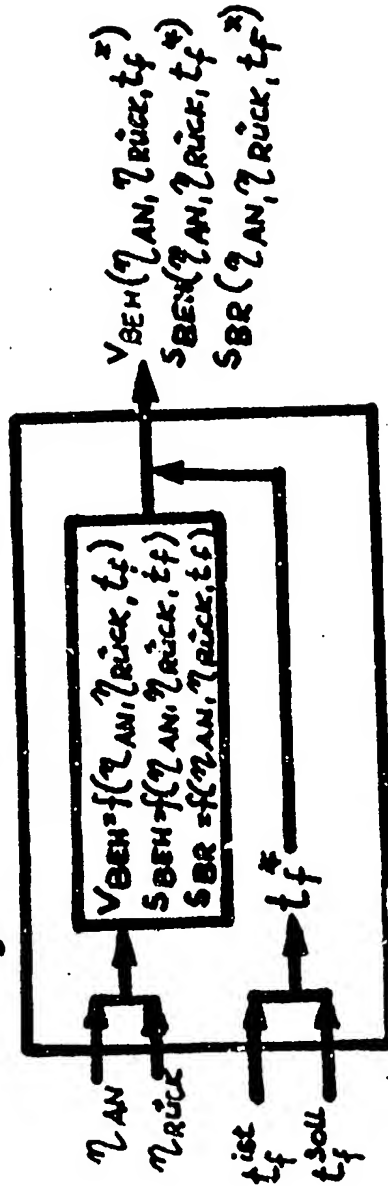
Das der Erfindung zugrundeliegende Verfahren gestattet die Bestimmung der funktionalen Beziehungen  $V_{BEH}(t_i, \eta_{AN}, \eta_{RÜCK})$ ,  $S_{BEH}(t_i, \eta_{AN}, \eta_{RÜCK})$  und  $S_{BR}(t_i, \eta_{AN}, \eta_{RÜCK})$  und somit die Festlegung der optimalen Auslauflänge AL für jeden Abschnitt mit konstanter zulässiger Höchstgeschwindigkeit  $V_{max}$ . Die zu berücksichtigende Fahrzeit  $t_i$  wird nach bekannten Verfahren zur Ermittlung energieoptimaler Teilfahrzeiten bei Vorliegen mehrerer, verschiedener Höchstgeschwindigkeitsbegrenzung  $n$  bzw. zur Modifikation von Fahrzeiten zwecks Heranführen eines Zuges an die vorgegebene Fahrplanlage festgelegt. Auf dieser Grundlage werden abschnittsweise die optimale Beharrungsgeschwindigkeit  $V_{BEH}$ , die optimale Beharrungslänge  $S_{BEH}$  und der Bremseneinsatzpunkt  $S_{BR}$  bestimmt und stehen gemäß Figur 3 als Steuerbefehle zur Verfügung, die entweder durch eine automatische Zugsteuerung verarbeitet werden oder durch den Triebfahrzeugführer ausgeführt werden.

Die realisierte Steuerung führt zu energieoptimaler Fahrweise und einer damit verbundenen Senkung des Bedarfs an elektrischer Energie für die Zugfahrt.



Figur 3

Für jeden Abschnitt mit  $v_{max} = const.$



**THIS PAGE BLANK (USPTO)**